

NQR 装置の組み立て

Assembling nuclear quadrupole resonance apparatus

本多 尚

(横浜市立大学大学院生命ナノシステム科学研究科 教授)

1. 序論

本研究は、2020 年 6 月に『普通の論文より、失敗・成功に関わらず思い出深い研究エッセイ風（4～5 ページ以内の短いもの）が良いな～と仰っています』という難題を解決するために以下の思考検証を行った。

2. 実験

学部生の頃からの研究生生活を振り返り、記憶に残っている出来事の中から 1 つ選んだ。

3. 結果と考察

これまでに行ってきた研究で思い出深いのは、横浜市大に来て 1998 年に cw NQR 装置を組み立てたことである。話は遡って、本多が信州大学の学部・修士時代から始める。当時は核四極子共鳴（NQR）の装置を使った物性研究を行っていた。その装置は、本多の 20 年先輩がすべて自作した装置である。そのため、抵抗・コンデンサー・コイル・ダイオード・真空管など、見て分かるもので構成されていた。NQR の装置は簡単な回路で組み立てられるので、1990 年代は、日本やドイツ、韓国、ソ連などで盛んに研究が行われていた。NQR は、結晶場で量子化されるので、電子密度の微小変化を非常に感度良く検出できる反面、 ^{35}Cl の場合、0～130 MHz のどこかに信号が検出されるといった苦勞もつきまとう。各装置には得意な周波数帯があるので、各研究者それぞれ着目したい周波数の装置を自作して研究を行っていた。上記の通り、使用していた装置が自作回路だったので、信号が見えなくなると先輩が残した回路図を見ながらテスターで配線を追って修理することがそれなりの頻度であった。所属していた理学部化学科では電気回路の講義がなかったので、交流回路の本を読みながら独学で故障箇所を探して修理した。NQR の装置は、簡単な回路なので安価に組み立てられるメリットがある。そのため、戦後日本で研究が盛んだったと聞いている。1990 年代は NQI という NQR をメインにした国際学会が隔年開催されており、論文も多く発表されていた。学部・修士時代は NQI の学会

には参加できなかったが、博士課程の時に初めて NQI に参加し、その後も何回か NQI に参加してきた。しかし、21 世紀になると参加者が次々と定年を向かえ、NQI だけで単独開催が厳しくなっていた。そして 10 年前に他の国際学会に吸収されてしまった。

さて、時を 1997 年に戻す。横浜市立大学に助手で赴任したとき、研究室には何もなくて（ガスバーナーが 1 個あっただけ）、今のように NMR も使えない状況であった。当時はまだ NQI の学会も盛況だったので、NQR の装置を自作することとした。そこで、信州大学で使っていた回路図と写真を（図 1）を頼りに、秋葉原でハンダやラジオペンチ、電気素子などを買って準備を進めたが、早くも大きな問題に直面することになった。それは製造されていない素子が 2 つあることに気づいたのである。それはバリキャップコンデンサーのある型番ともう 1 つがバタフライ型コンデンサーというものである。

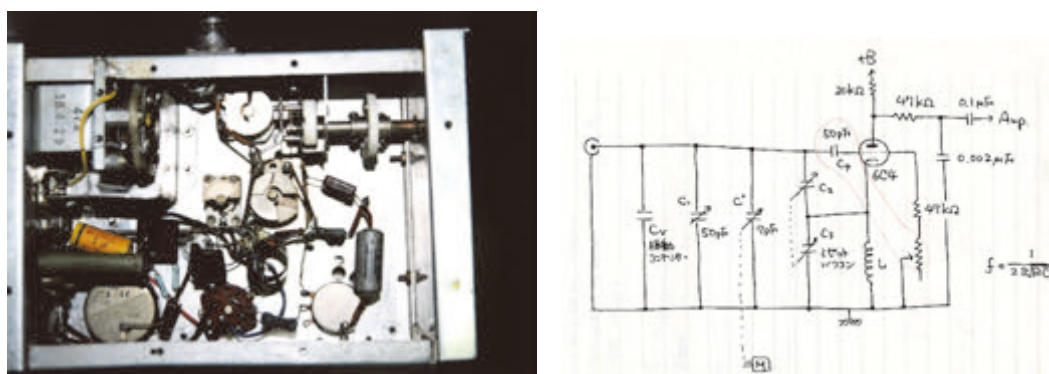


図1 信州大学の超再生型発振検波器(左)とその回路図のメモ(右)

バタフライ型は蝶の羽の形状をした可変コンデンサーで、2 つのコンデンサーの容量がリンクするようになっている特殊なコンデンサーである（図 2）。秋葉原に出かけて、ラジオデパート 1 階と 2 階の素子に詳しいおじさんと話をしながら、必要な素子を集めていたが、バタフライ型コンデンサーは秋葉原にはなかった（蝶小型コンデンサーとも言うので、音だけだと間違いが生じることがある）。バタフライ型コンデンサーは NQR 装置の心臓部である発振検波器に必要な素子である（図 1 の C_2 と C_3 ）。試しに 2 個のコンデンサーを使ってみたが、当然のことながら発振しなかった。バリキャップコンデンサーは同じ機能を持ちそうな物を購入したので、あとはバタフライ型コンデンサーだけという状態になった。ここで後々のことも考え、発振検波器のしくみと NQR について簡単に触れておく。なお、図 3 は、日本大学の発振検波器である。



図2 バタフライ型コンデンサー



図3 日本大学の超再生型発振検波器

まず、四極子共鳴の簡単な説明からはじめる。核スピンの1以上の原子核は四極子モーメントを持つ。つまり、サッカーボールのような球ではなく、ラクビーボールのような形をしている(図4)。原子核は正に帯電しているのが核の配向によりエネルギーが異なる(図4では結晶場を+と-で表している)。このエネルギー差に相当する周波数 ω_Q を観測するのがNQRである。

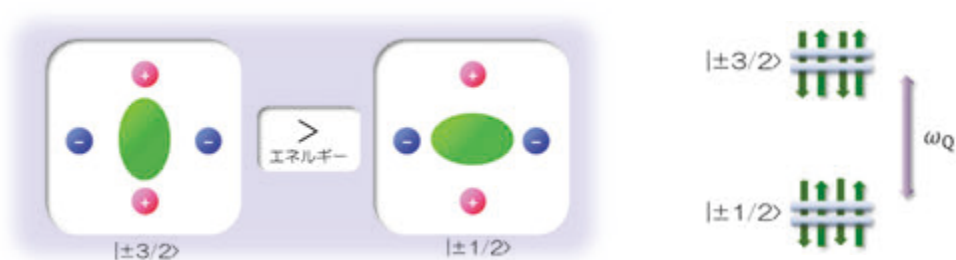
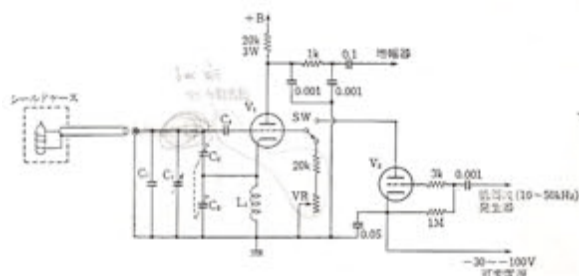


図4 四極子相互作用(左図の中央の楕円が原子核)

発振検波器のしくみであるが、図1の回路図の元は図5になる[1]。図5の回路は発振状態と発振が止まった状態を周期的に繰り返す(繰り返しの周波数をクエンチ周波数と呼んでいる。図5の右図参照)。このブロッキング発振に試料の信号が加わると、発振状態が変調するので、それを検波し、NQR信号を検出している。このブロッキング回路は、非常に微妙なバランスで発振状態を作るので、素子の配置による浮遊容量等で発振しなくなることがある。そのため、バタフライ型コンデンサーがないと装置が組み立てられない状況であった。ダメ元で横浜の石川町にも行ったが、やはり見つからなかった。そんなとき、1997年の秋に大阪で学会があり、日本橋に行った。でもなかった。帰りに名古屋の大須に立ち寄った。偶然、引き寄せられるように入ったお店の片隅にバタフライ型コンデンサーがあった。そのときは嬉しく、売っていたバタフライ型コンデンサーを

全て (3-4 個) 買い占めた (おそらくその日からバタフライ型コンデンサーは市場から姿を消したと思われる)。大学に戻ってきてその中から 1 個を使って、発振検波器を作った。しかし、発振しなかった。信州大学にいたときもケースに蓋をつけると浮遊容量が変化し、発振が止まることを経験していたので、気長に素子の配置や方向などを変えながら試行錯誤して日々が過ぎた。その間、桜上水の日本大学に何度かお邪魔して、超再生型発振検波器の正常な状態を調べた。つまり、回路のある部分の電圧や波形を観察し、自分が作っている物とどこが違うのか比較した。また、松本にも行き、写真では読み取れない素子の配置などを記録した。



からは、NQR 装置は研究室でひっそりとしている。苦労して作った装置なので、また日の目を見られるようにしたい。

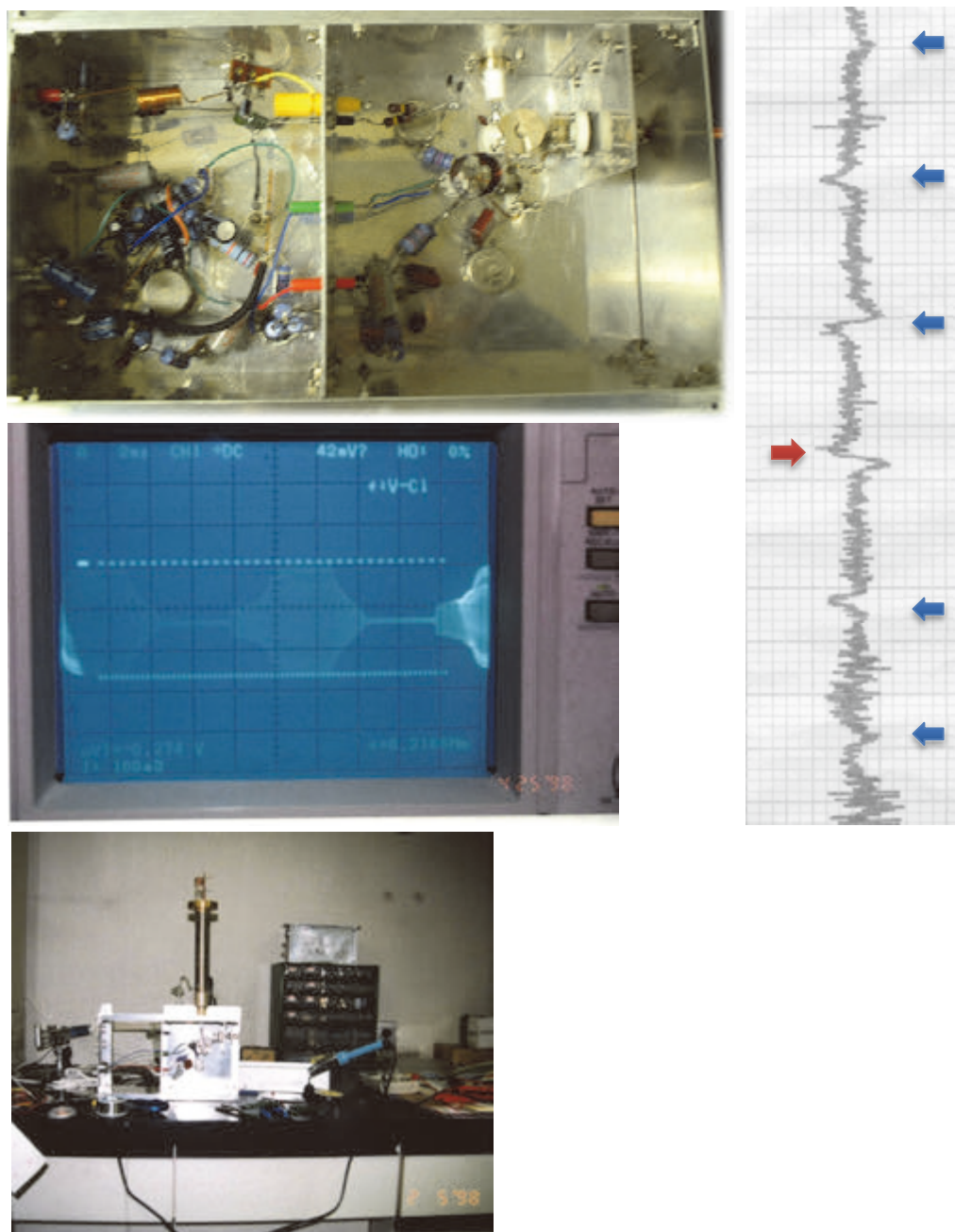


図 6 作製した超再生発振検波器(左上 1998 年 7 月)、ブロッキング発振状態(左中 1998 年 4 月)、発振検波部だけの状態(左下 1998 年 2 月)と得られた NQR 信号(右 赤矢印が信号)

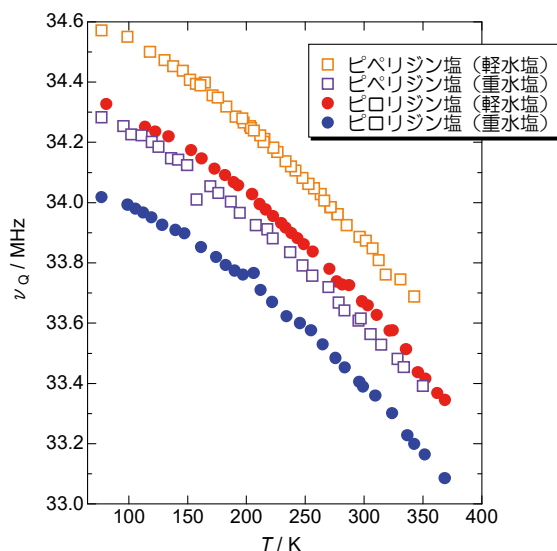


図7 p-クロロ安息香酸のピペリジニウム塩とピロリジニウム塩の ^{35}Cl NQR 周波数の温度変化

謝辞

高山光男先生には、環境ホルモンの研究会、ヨコハマ水の会、ボトルウォーター協会をはじめ大変お世話になりました。高山先生の後押しやご助言等のお陰で、ゼオライトや冷却塗料の研究へと自身の研究分野を展開することができました。この場を借りて感謝申し上げます。

また、NQR 装置作成では、以下の先生方にご協力頂きました。信州大学の笹根昭伸先生・石川厚先生、筑波大学の池田龍一先生、日本大学の浅地哲夫先生・藤森裕基先生、徳島大学の寺尾博充先生、弘前大学の長尾至孝先生、佐賀大学の石原秀太先生。この場を借りてお礼申し上げます。

引用文献

- [1] 実験化学講座 丸善.
- [2] L. S. Prabhumirashi, S. R. Nayak, R. Ikeda, and D. Nakamura, *Chem. Edu.*, **1989**, 23.
- [3] R. Nakano, H. Honda, T. Kimura, E. Nakata, S. Takamizawa, S. Noro, S. Ishimaru, *Hyperfine Interactions*, **2008**, 181, 59.
- [4] R. Nakano, H. Honda, T. Kimura, S. Kyo, S. Ishimaru, R. Miyake, E. Nakata, S. Takamizawa, S. Noro, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **2010**, 83, 1019.